

Energiezukünfte für Power-to-X-Technologien

Eine Betrachtung der Akzeptabilität

Julia Epp, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, Reichpietschufer 50, 10785 Berlin (julia.epp@wzb.eu)

Theresa Pfaff, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (theresa.pfaff@wzb.eu)

In Power-to-X-Technologien (P2X) in Form von synthetischen Kraft- und Brennstoffen für die Energie- und Verkehrswende werden große Hoffnungen gesetzt, ob als Lösung für den Umgang mit der Volatilität der erneuerbaren Energien oder als Kraftstoffe für den Verkehr. Aufgrund der begrenzten Flächen- und Erzeugungspotenziale erneuerbarer Energien ist jedoch kein großflächiger Ausbau von P2X-Anlagen in Deutschland zu erwarten. Der Import von P2X-Stoffen für die künftige Energieversorgung aus dem Ausland könnte eine wichtige Strategie zur Dekarbonisierung des Energiesystems sein. Die Akzeptabilität dieser Energiezukünfte wird hinsichtlich sozialer und ökologischer Kriterien exploriert.

Energy futures for power-to-X technologies

Reflection on the acceptability

Power-to-X technologies (P2X) in the form of synthetic fuels raise great hopes for the sustainable transition of the energy and mobility system: whether as a solution for handling volatile renewable energies or as green fuels for transport. Due to the limited land availability and production potential of renewable energies, however, a large-scale expansion of P2X plants in Germany is unlikely. The import of P2X products from abroad for local energy supply could be an important strategy to decarbonize the future energy system. The acceptability of these energy futures will be examined according to social and ecological criteria.

Keywords: power-to-X, energy transition, energy futures, synthetic fuels, acceptability

Einleitung

Durch die Energiewende soll der Transformationsprozess angestoßen werden, den die Menschheit benötigt, um aus energie-wirtschaftlicher Sicht dem Klimawandel zu begegnen. Diese Transformation beinhaltet einen Übergang zu einer klimaverträg-

lichen Gesellschaft, deren Kernstück die Dekarbonisierung des Energiesystems darstellt. Die deutsche Energiewende, welche bislang insbesondere als eine Stromwende beschrieben werden kann, steht nun vor den nächsten großen Herausforderungen. Zwar hat Deutschland einen Anteil von ca. 38% erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung erreicht, jedoch schaffen es die erneuerbaren Energien im Wärmesektor gerade einmal auf ca. 14% und im Verkehr nur auf ca. 6% (Umweltbundesamt 2019). Um signifikante Fortschritte bei der Dekarbonisierung dieser Sektoren zu erzielen, muss neben Sanierungsoffensiven, Energieeffizienzmaßnahmen und der Umstellung des Verkehrs vor allem der Ausbau der erneuerbaren Energien weiter vorangetrieben werden. Diese bilden die Basis des künftigen Energiesystems, weswegen der Strombedarf trotz Effizienzbemühungen in allen Sektoren steigen wird. Das bedeutet, dass Prozesse zunehmend elektrifiziert werden, zum Beispiel in der Industrie oder in Form von Elektromobilität und Stromwärmepumpen (Dena 2018).

Es eröffnet sich eine Bandbreite an Möglichkeiten, wie zum einem das erneuerbare Energiesystem künftig ausgestaltet sein wird und zum anderen, welche Transformationspfade unter Berücksichtigung verschiedenster Technologiekombinationen zu diesem Ziel führen. Neben direkten Elektrifizierungspfaden werden zunehmend Transformationspfade diskutiert, welche die Rolle von Power-to-X-Technologien (P2X) – also synthetische Kraft- und Brennstoffe – miteinbeziehen. P2X-Technologien ermöglichen es, aus Strom (Power) per Elektrolyseverfahren (to) andere Stoffe (X) herzustellen. Dabei wird üblicherweise zwischen Power-to-Gas (Wasserstoff und Methan), Power-to-Liquid (synthetische Kraftstoffe) und Power-to-Chemicals (chemische Grundstoffe) unterschieden¹. P2X-Technologien befinden sich größtenteils noch in Pilot- und Demonstrationsphasen, ein globaler Markt für P2X-Stoffe hat sich noch nicht etabliert. Die Produktion und Nutzung von P2X-Stoffen auf Basis von erneuerbaren Energien in Deutschland und im Ausland wirft weitreichende Fragen auf, die im Rahmen dieses Beitrags genauer be-

This is an article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License CCBY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)
<https://doi.org/10.14512/tatup.28.3.41>
 Submitted: 07.07.2019. Peer reviewed. Accepted: 24.10.2019

¹ Power-to-Heat und Power-to-Mobility werden als direkte Elektrifizierungspfade im Rahmen dieser Studie nicht als P2X-Produkte berücksichtigt, da es sich nicht um Wasserstoff-basierte Technologien handelt.

leuchtet werden sollen. Energiezukunft von P2X-Technologien werden derzeit insbesondere von Expert*innen bedient und bewegen sich in einem Spannungsfeld zwischen technischer Komplexität und hoher Unsicherheit hinsichtlich des Mengenbedarfs an P2X-Stoffen für die deutsche Energiewende. Im Vordergrund steht, welche Energiezukunft für P2X-Technologien unter Berücksichtigung des aktuellen Wissenstandes bei Expert*innen der Wissenschaft, von Verbänden und Umweltschutzorganisationen existieren, welche Kriterien in Bezug auf die Akzeptabilität diskutiert werden und welche Fragen sich zu der zu erwartenden Akzeptanz ergeben.

Hintergrund

Akzeptanz als Schlüsselfaktor der Energiewende

Zwar ist die Zustimmung zur Energiewende über alle Altersgruppen und Bevölkerungsschichten in Deutschland mit 90% hoch, jedoch formen sich gegenüber dem Ausbau von Windenergie-Anlagen immer mehr Proteste (Setton 2019). Dazu gehören lokale Bürgerinitiativen, die sich professionalisieren und mittlerweile überregional bzw. auch bundesweit vernetzen (Eichenauer 2018). Sollte der Ausbau der erneuerbaren Energie in Deutschland selbst stocken, dann gewinnen der europäische Stromhandel und Netzausbau zusätzlich an Bedeutung. Auch der Beitrag von P2X-Technologien muss in diesen Kontext gesetzt werden, da für deren nachhaltige Anwendung erneuerbare Energien zur Verfügung stehen müssen. Die große Schwachstelle bei der Produktion von P2X-Stoffen sind die weiteren Umwandlungsschritte und die damit verbundenen Effizienzverluste. Entsprechend bilden Akzeptanz und Akzeptabilität zwei wichtige Untersuchungsgegenstände.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist allerdings Basis für alle weiteren Phasen der Energiewende, so auch der Nutzung von P2X-Technologien. Während *Akzeptanz* empirisch abgeleitet wird und sich mit der erwarteten Reaktion von bestimmten Akteuren auf eine Technologie beschäftigt (Beispiel: Nutzer*innen, Betroffene), betrachtet das Konzept der *Akzeptabilität* die generelle ethische und gesellschaftliche Rechtfertigbarkeit (Grunwald 2005, S. 55). Dieser theoretisch geleitete Diskurs bedient sich rationaler Kriterien – wie Grenzwerte der Emissionsbelastung – und untersucht eine technische Entwicklung auf ihre Akzeptanzwürdigkeit und Zumutbarkeit hin (ebd., S. 55). Die Erkenntnisse zur Akzeptabilität sollten im Sinne eines transdisziplinären Vorgehens dazu verwendet werden, „eine offene wissenschaftliche und ethisch orientierte gesellschaftliche Diskussion“ zu führen (Grunwald 2003). In der folgenden Analyse wurden Aussagen aus einem interdisziplinären Umfeld zusammengetragen, welche Kriterien der Akzeptabilität von P2X-Technologien systematisieren.

Energiezukunft und Szenarien

Grunwald (2005, S. 5) definiert Technikzukunft als „Zukunftsvorstellungen, in denen projizierte wissenschaftlich-technische Entwicklungen in projizierte zukünftige gesellschaftliche For-

mationen projiziert werden“. Generell können Technikzukunft durch ein breites Spektrum an Methoden beschrieben werden. Dazu gehören Szenarien, Vorhersagen, Visionen, Roadmaps, Erzählungen und mehr. Deren Zweck ist es unter anderem, Transformationsprozesse zu strukturieren und diese so zu skizzieren, dass wichtige Entscheidungen bezüglich Investitionen, Technologieeinsatz oder politische Maßnahmen getroffen werden können (Grunwald 2011). Im Rahmen der Energiewende werden daher Szenarien oder Roadmaps entwickelt, um mögliche Transformationspfade zu konkretisieren und die daraus resultierenden zukünftigen Entwicklungen zu diskutieren. Im Kern sind Szenarien demgemäß Möglichkeitsaussagen, welche einen Ausschnitt der Wirklichkeit zu einem Zeitpunkt betrachten. Vorstellungen über die Zukunft existieren nicht per se, sondern werden in mehr oder weniger komplexen Prozessen sozial konstruiert. Entsprechend kann man Szenarien als eine Ausprägung von Energiezukunft verstehen, bei der das zu dem Zeitpunkt vorhandene Wissen über technologische Potenziale und normative Vorstellungen über das künftige Zusammenleben miteinfließen.

Methodisches Vorgehen

Aufgrund des neuartigen Charakters von P2X-Technologien und des Fokus auf die sich noch materialisierenden Energiezukunft wurde ein exploratives Forschungsdesign gewählt, das die hinreichende Erforschung der Kriterien zur Akzeptabilität in den Vordergrund stellt. Die Auswahl von Studien zu P2X-Szenarien² und Expert*innen erfolgte insbesondere basierend auf den Forschungsarbeiten der Roadmap des Kopernikus-Projekts „P2X“³, wobei die Roadmap zentrale Ergebnisse der interdisziplinären Forschung und politische Handlungsempfehlungen für die Energiewende zusammenfasst (Ausfelder und Dura 2018). Insgesamt wurden zehn einstündige Expert*inneninterviews mit Mitarbeitenden aus Institutionen der folgenden Bereiche geführt⁴:

- Verbände – 1 × Chemie (= Verband-C) und 1 × Energie und Verkehr (= Verband-E & V);
- Forschungseinrichtungen – 1 × Verkehr (= Forschung-V), 3 × Energie (= Forschung-E) und 1 × Energie und Verkehr (= Forschung-E & V);
- Umweltschutzorganisationen – 1 × Verkehr (= Umweltschutz-V), 1 × Energie (= Umweltschutz-E) und 1 × Energie und Klimaschutz (= Umweltschutz-E & K).

2 Literaturanalyse folgender Studien: Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics 2018; Altrock et al. 2018; Ausfelder und Dura 2018; Bazzanella et al. 2017; BDI 2018; Dena 2018; Frontier Economics 2018; UBA 2014; VNG 2018.

3 Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03SFK2N0 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

4 Erhebungszeitraum: April bis Juni 2019, aus Datenschutzgründen wurden die Institutionen der befragten Expert*innen anonymisiert.

Die Kopernikus-Projekte für die Energiewende

Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft entwickeln in den Kopernikus-Projekten für die Energiewende gemeinsam technologische und wirtschaftliche Lösungen für den Umbau des Energiesystems. Es ist die größte Forschungsinitiative zur Energiewende und wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Die Projekte widmen sich vier zentralen Themen der Energiewende: der Speicherung überschüssiger erneuerbarer Energie durch Umwandlung in andere Energieträger wie beispielsweise Wasserstoff, der Entwicklung von Stromnetzen, die an einen hohen Anteil erneuerbarer Energien angepasst sind, der Neuausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung und dem Zusammenspiel von erneuerbarer und konventioneller Energie, um die lückenlose Versorgung mit Energie sicherzustellen. Derzeit wird im Kopernikus-Projekt „P2X: Erforschung, Validierung und Implementierung von Power-to-X-Konzepten“ untersucht, wie Power-to-X-Technologien zur Marktreife gebracht und implementiert werden können.

Die Auswertung erfolgt entsprechend der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (1991) mit dem Hintergrundwissen der theoretischen Einordnung und gemäß den Grundformen des Interpretierens: Zusammenfassung, Explikation und Strukturierung. Ziel ist es, Kriterien der P2X-Zukünfte und Akzeptabilität abzuleiten und zu diskutieren.

Szenarien zu P2X und deren Akzeptabilität

Herleitung der P2X-Szenarien

Ausgangspunkt für die Überlegungen zu Energiezukunft von P2X sind die im Kopernikus-Projekt diskutierten Annahmen und Perspektiven der Wissenschaft, Wirtschaft und Verbände. Dazu gehört vornehmlich die Betriebsweise von P2X-Anlagen, woran sich unmittelbar Standortfragen und sektorale Anwendungen anschließen. Dahingehend stellte die erste Roadmap des Kopernikus-Projekts P2X insbesondere zwei Betriebsweisen von P2X-Anlagen in den Vordergrund, aus denen sich die P2X-Szenarien ableiten (Ausfelder und Dura 2018, S. 55):

- Ein systemdienlicher Betrieb, der sich an der erneuerbaren Stromerzeugung orientiert, stabilisiert das Stromnetz und minimiert die Strombezugskosten für die P2X-Anlage.
- Ein kontinuierlicher Betrieb der Anlage führt zu möglichst hohen Volllaststunden und damit zu einer Minimierung der spezifischen Kapitalkosten für das Produkt.

Netzdienliche Szenarien zu P2X

In netzdienlichen Szenarien mit systemdienlicher Betriebsweise werden P2X-Anlagen angeschaltet, wenn ein starker „Überschuss“ an erneuerbarem Strom in Deutschland produziert wird und am Erzeugungspunkt nicht ins Netz eingespeist werden kann. P2X-Anlagen würden Überkapazitäten bspw. von Wind-

energieanlagen, die aufgrund von Netzengpässen aberegelt werden müssten, nutzen und synthetische Stoffe produzieren. Die Anlagen würden in Deutschland aufgebaut und in dieser Betriebsweise nicht in Volllast laufen. In den Interviews wird betont, dass „Überschussstrom“ in Deutschland lediglich eine temporäre Verfügbarkeit von erneuerbaren Spitzenlasten darstellt, welche durch den weiteren Netzausbau und die Elektrifizierung des Verkehrs- und Wärmesektors abnehmen wird (Verband-C und Forschung-E & V). Zwar wäre es wichtig, aktuell der Abregelung von Erneuerbare-Energien-Anlagen entgegen zu wirken, jedoch sollten in dieser Übergangsphase weitere Technologien der Sektorenkopplung und des Netzausbaus priorisiert werden, ohne ungewollte Pfadabhängigkeiten in Form von stationären P2X-Anlagen in Deutschland zu schaffen (Forschung-E & V, Umweltschutz-E & K).

Entsprechend sind sich die untersuchten Studien und Expert*innen uneins, welche Rolle die Produktion von Wasserstoff und anderen P2X-Stoffen in Deutschland spielen wird. Die Dena-Leiststudie (2018) geht davon aus, dass im Jahr 2050 national zwischen 130 und 164 TWh pro Jahr an synthetischen Brennstoffen unter optimierter Nutzung von Einspeisespitzen erneuerbarer Energien erzeugt werden⁵. Im Gegensatz dazu sieht die Studie des BDI (2018) nur wenig wirtschaftliche Potenziale für die nationale Brennstoffproduktion aus „Stromüberschüssen“, da andere Flexibilitätsoptionen und Stromverbraucher die volatile Erzeugung in Zukunft ausgleichen werden. Zudem steigt der Einsatz von P2X-Technologien in Szenarien mit höheren Ambitionsniveau zur Treibhausgasreduktion (VNG 2018; Wietzel et al. 2018).

Grundlegend ist auch ein kontinuierlicher Betrieb von P2X-Anlagen in Deutschland denkbar. Allerdings fordern die interviewten Expert*innen, dass langfristig erneuerbare Energien in P2X-Anlagen zum Einsatz kommen sollten (Forschung-V, Forschung-E, Umweltschutz-E, Umweltschutz-E & K). Die erneuerbaren Erzeugungskapazitäten sind bundesweit begrenzt: Erneuerbarer Strom wird auch in Zukunft ein knappes Gut sein und P2X-Technologien nutzen durch höhere Umwandlungsverluste den Strom weniger effizient als direkte Elektrifizierungsprozesse (Verband-C, Forschung-E & V, Umweltschutz-E & K). Vordergründig können aber durch die Realisierung von Pilotprojekten in Deutschland technisches Know-how und Erfahrungen in der Betriebsführung von P2X-Anlagen gesammelt werden. Dieses Wissen kann dann beim Aufbau von Anlagen im Ausland genutzt werden und Deutschland zu einer Technologieführerschaft verhelfen (Verband-C, Forschung-E). Regional kann die Produktion von Wasserstoff in Deutschland in begrenztem Maß sinnvoll sein, dies wird sich erst noch zeigen (Verband-E & V, Umweltschutz-E). Beim Aufbau von P2X-Anlagen

⁵ Zum Vergleich: Im Jahr 2018 wurden insgesamt 427 Terawattstunden aus erneuerbaren Energien bereitgestellt, dies entspricht fast 17 Prozent des Endenergieverbrauchs in Deutschland. Von dieser Energiemenge entfielen etwa 53 Prozent (oder 225 TWh) auf die Stromproduktion, ca. 40 Prozent (oder 171 TWh) auf den Wärmesektor und etwa 7 Prozent auf biogene Kraftstoffe im Verkehrsbereich (32 TWh) (Umweltbundesamt 2019).

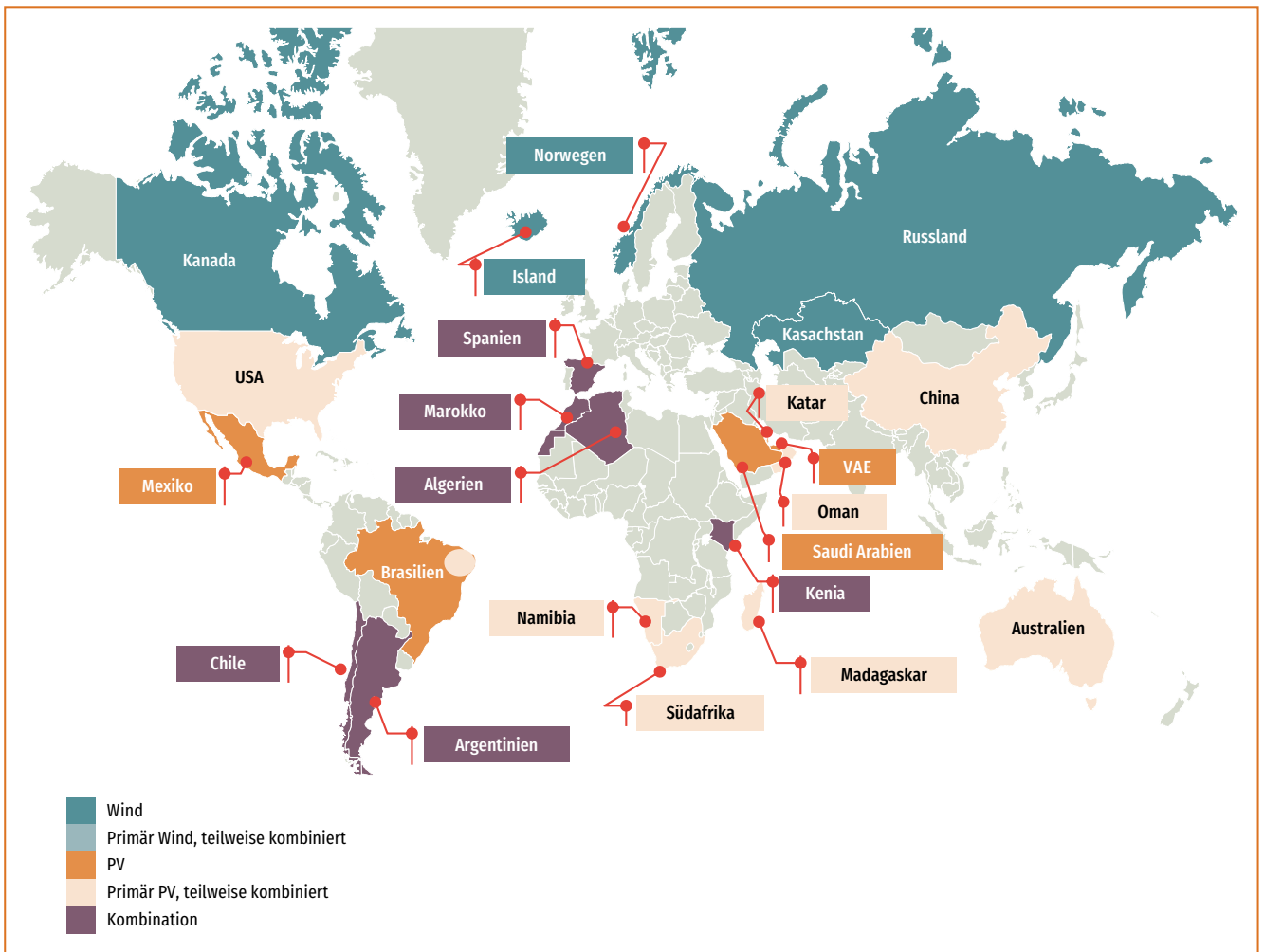


Abb. 1: Vielfalt und Diversität potenziell P2X produzierender Länder.

Quelle: Frontier Economics 2018, beauftragt durch den Weltenergieerat – Deutschland e.V.

kann es wie beim Ausbau von Windenergieanlagen zu Widerständen und Akzeptanzproblemen kommen, die im regionalen Kontext erörtert werden müssen (Umweltschutz-E & K).

Remote-Szenarien zu P2X

Remote-Szenarien legen den Fokus auf Standorte mit hohem Erzeugungspotenzial von erneuerbarem Strom, welche eine kontinuierliche Betriebsweise von P2X-Anlagen wirtschaftlicher machen würden⁶. In diesen Szenarien würde Deutschland P2X-Stoffe aus dem Ausland importieren. Für die Dekarbonisierung des chemischen Sektors wird eine kontinuierliche Betriebsweise von Anlagen für notwendig gehalten, da hohe Absatzmengen von P2X-Stoffen für den Ersatz von petrochemische Wertschöpfungskette benötigt werden (Verband-C, Forschung-E). Die analysierten Studien zeigen, dass Deutschland auch bei einer erfolg-

reichen Umsetzung der Energiewende weiterhin auf Energieimporte angewiesen sein wird, wenn auch in Summe in geringerem Maße als bisher. Der BDI-Studie (2018) zufolge sanken Energieimporte bis 2050 insgesamt um fast 80% gegenüber 1990. Expert*innen der chemischen Industrie führen an, dass ihre Branche jedoch in den meisten Szenarien nicht berücksichtigt wird (Verband-C, Verband-E & V). Die Menge an Importen synthetischer Energieträger hängt maßgeblich davon ab, inwieweit Onshore-Wind in Deutschland ausgebaut wird und wie erfolgreich sich der europäische Stromnetzausbau gestaltet.

Eine Importstrategie ist zudem voraussetzungsreich. So müssen hierfür verschiedene energiewirtschaftliche und infrastrukturelle Voraussetzungen geschaffen werden. Daneben hat eine solche Importstrategie auch weitreichende (geo-)politische Implikationen bspw. hinsichtlich der Interessen erdölproduzierenden Volkswirtschaften (siehe Abb. 1). Zahlreiche Kriterien können dem Import von P2X-Stoffen und damit dem Remote-Szenario zugrunde liegen (Forschung-V, Forschung-E, Öko-Institut 2019): Im Fokus steht vornehmlich das Kriterium der ‚Strom-

⁶ Eine systemdienliche Betriebsweise von P2X-Anlagen ist ebenso möglich, würde aber P2X-exportierende Länder wie im vorherigen Abschnitt vor die Problematik der Wirtschaftlichkeit unter geringeren Volllaststunden stellen.

zusätzlichkeit', d. h. dass Länder sich erst selbst über alle Sektoren mit erneuerbaren Energien versorgen sollten, bevor sie für den Weltmarkt P2X-Stoffe produzieren. Darüber hinaus sollte im gesellschaftlichen Diskurs eruiert werden, inwieweit ‚lokale Arbeitsbedingungen‘ bei der Produktion von erneuerbaren P2X-Stoffen für die deutsche Energieversorgung eine Rolle spielen (Forschung-V, Forschung-E, Umweltschutz-E & K). Zusätzlich sollten weitere Untersuchungen zu Kriterien wie ‚Flächeninanspruchnahme‘, CO₂-Gewinnung als Rohstoff und ‚Wasserbezug‘ in den Produktionsländern angestellt werden (Forschung-V, Forschung-E, Umweltschutz-E & K). Insbesondere der

die Vorstellung entstehen, dass ein disruptiver Wandel im Rahmen der Verkehrswende doch nicht nötig sei (Forschung-E & V, Umweltschutz-E & K). Teilweise wird in P2X-Technologien die Rettung des Verbrennungsmotors gesehen, denn grundsätzlich sei es möglich, P2X-Stoffe wie Methanol zu produzieren und diese im Verbrennungsmotor ohne größere Anpassungen zu nutzen (Verband-E & V). Die interviewten Expert*innen sprechen sich für die Priorisierung von Batterieelektrischen Fahrzeugen im Pkw-Segment aus (Forschung-V, Forschung-E & V, Forschung-E, Umweltschutz-V, Umweltschutz-E & K). Der Ausbau von Schnellladestationen, die Kostendegression von Batterie-

Durch Pilotprojekte in Deutschland können Erfahrungen in der Betriebsführung von P2X-Anlagen gesammelt werden. Dieses Wissen kann dann beim Aufbau von Anlagen im Ausland genutzt werden.

45

Wasserbedarf in Regionen wie Nordafrika könnte beim großtechnischen Ausbau von P2X-Anlagen zu Akzeptanzproblemen führen. In den Expert*inneninterviews wird auch das Kriterium *politische Stabilität* thematisiert, speziell bei der Produktion von P2X-Stoffen im außereuropäischen Raum (Verband-C, Forschung-E, Umweltschutz-V). Durch den Import synthetischer Gase kann vielen Herausforderungen, die mit der inländischen Herstellung verbunden sind, begegnet werden: Fragen zu begrenzten Ausbaupotenzialen der Windkraft, niedrigeren Volllaststunden der Anlagen oder des zusätzlichen inländischen Flächenbedarfs rücken in den Hintergrund.

Akzeptanz und Diskurs um P2X-Szenarien

P2X als Hoffnungsträger

Die Energiewende hat eine Phase erreicht, in der die nächsten Schritte der Sektorenkopplung vorangetrieben werden müssen. Im Vergleich der Szenarien zeichnen sich die verschiedenen Blickwinkel der Expert*innen auf P2X-Technologien ab: Während Akteure aus dem Energiesektor (Anlagenbetreiber, Netzbetreiber etc.) eher mit der Brille des volatilen Angebotes auf die Möglichkeiten von P2X zur Netzstabilität schauen, streben Akteure aus der chemischen Industrie oder dem Verkehrssektor auf der Nachfrageseite eine gesicherte Versorgung mit P2X-Stoffen an (Verband-C, Forschung-E, Umweltschutz-E & K). Diese Sichtweisen zusammenzuführen, stellt im aktuellen Diskurs eine wesentliche Herausforderung dar, da der Einsatz von P2X-Technologien unter verschiedenen Betriebsweisen und Standorten erfolgen würde.

Die Gemengelage für den Verkehrssektor gestaltet sich beispielsweise äußerst komplex. Es kann hier bei einigen Akteuren

rien und die steigende Reichweite von Fahrzeugen machen die Batterieelektrische Mobilität zunehmend attraktiver. Im Fern-, Schwerlast und im öffentlichen Personenverkehr ist offen, welche technologischen Optionen überwiegen werden (Wasserstoff, Power-to-Liquid, E-Mobilität mit Oberleitungen etc.). Bei Schiffen und Flugzeugen wird eine Dominanz von synthetischen Kraftstoffen und Biokraftstoffen gesehen (VNG 2018; Forschung-V, Umweltschutz-V). Der Verkehrssektor benötigt allerdings nicht nur eine Energiewende im Verkehr, sondern auch eine Mobilitätswende. Das heißt, dass multimodales Verkehrsverhalten und klimafreundliche Fortbewegungsmittel priorisiert und gefördert werden müssen, um u.a. von der autogerechten zur lebenswerten Stadt zu kommen (Debatte der „Flächengerechtigkeit“, Canzler und Knie 2019). Die soziale Konstruktion von P2X-Energiezukunftsfeldern unterliegt deshalb im Speziellen der Gefahr, die Technologien als einfache Lösung zu propagieren. P2X als Bestandteil der Energie- und Verkehrswende bedingt allerdings einen massiven Ausbau an erneuerbaren Erzeugungsanlagen.

Szenarien und ihr Diskursbeitrag

Das große Potenzial von Energiezukunftsfeldern liegt darin, den komplexen Baustein der P2X-Technologien in der Energiewende zu veranschaulichen (Verband-E & V, Forschung-V, Forschung-E, Umweltschutz-V, Umweltschutz-E). Energieszenarien verlangen ihren Rezipienten ab, dass sie die Implikationen der dort dargestellten Szenarien verstehen und einordnen können. Ein Problem der aktuellen P2X-Energiezukunftsfelder ist sicherlich, dass diese bisher vor allem in der Wissenschaft, Politik und Wirtschaft diskutiert werden. Außerdem werden P2X-Technologien der breiten Bevölkerung unbekannt sein und müssen aufgrund der technischen Komplexität in ein zielgerichtetes und konsistentes Nar-

rativ eingebettet werden. Es ist nun Aufgabe der transdisziplinären Forschung, in einen deliberativen Diskurs zu treten, um diskursmächtige Akteure, Verbraucher*innen und Produzent*innen aber auch die allgemeine Bevölkerung in die weitreichenden Entscheidungen der Energiewende miteinzubeziehen. Kritisch ist es jedoch, wenn Energiezukunft Einfluss auf die Diskurse nehmen, weil sie von bestimmten Akteuren als Fakten darge-

mechanismen – dies alles charakterisiert disruptive Transformationsprozesse, und dies alles ist konfliktrichtig. Diese Herausforderungen transparent zu machen und in einem gesellschaftlichen Aushandlungsprozess zu lösen, muss zur Gewährleistung der Akzeptanz von P2X-Technologien passieren.

Derzeit werden P2X-Zukünfte vornehmlich von Wissenschaft und Wirtschaft gestaltet, obwohl Verbände und zivilge-

Die Gemengelage für den Verkehrssektor gestaltet sich äußerst komplex.

stellt werden, um damit Entscheidungen zu legitimieren (Verband-E & V, Forschung-E & V, Forschung-E, Umweltschutz-V). Bei Remote-Szenarien sollten die geopolitischen, sozialen und ökologischen Auswirkungen transparent gemacht werden. Ähnlich wie beim Biodiesel besteht hier die Gefahr, dass die ‚Teller vs. Tank‘-Debatte zu einer ‚Wasser vs. Tank‘-Debatte wird. Die identifizierten Kriterien für den Import von P2X-Stoffen aus dem Ausland und den netzdienlichen Betrieb von P2X-Anlagen können nur in einem gesellschaftlichen Diskurs auf ihre Akzeptabilität geprüft werden. Für die Bevölkerung muss der angestrebte Wandel annehmbar gemacht (Akzeptanz), Zustimmung durch einen transparenten Diskurs geschaffen (Legitimation) und Teilhabe ermöglicht werden (Partizipation) (WGBU 2011).

Fazit

Die Hoffnungen und Vorstellungen zu P2X-Technologien sind komplex und teilweise widersprüchlich. Im Fokus des aktuellen Diskurses stehen netzdienliche und Remote-Szenarien, welche nicht per se miteinander konkurrieren, jedoch von unterschiedlichen Akteuren mit ungleichen Sichtweisen bespielt werden. Es wird deutlich, dass in netzdienlichen Szenarien die nationalen Potenziale der P2X Produktion aufgrund der Sektorenkopplung eher gering bleiben werden (Elektromobilität, Wärmepumpen, etc.). In Hinblick auf Remote-Szenarien ist ungewiss, in welchen Regionen unter welchen Bedingungen P2X-Stoffe für die deutsche Energieversorgung produziert werden können. Für die nachhaltige Bereitstellung der Stoffe müssen Kriterien wie die Stromzusätzlichkeit, Arbeitsbedingungen, Flächenanspruch, Wasserbezug und politische Stabilität/Rechtsicherheit berücksichtigt und transdisziplinär diskutiert werden.

Aus sozialwissenschaftlicher Sicht ist klar, dass solche Transformationsprozesse, wie sie in der Energiewende stattfinden, stets mit Konflikten behaftet sind. Die Einführung neuer technischer Systeme, ihre Einbettung in neue Nutzungsroutinen, die Auflösung früherer oder konkurrierender Systeme, die Restrukturierung von Unternehmen und Märkten, die parallel verlaufende Herausbildung von neuen politischen Steuerungs-

gesellschaftliche Organisationen sich zunehmend in den Diskurs einbringen. Die hohen Unsicherheiten und das geringe Wissen zu der Rolle von P2X-Technologien für die Energiewende eröffnet die Möglichkeit, dass Expert*innen den Diskurs durch ein aktives Gestalten und Propagieren ihrer Vorstellungen zu P2X bestimmen. Im Verkehrssektor und in der chemischen Industrie als Hauptabnehmer von P2X-Stoffen müssen aber neben technologischen Veränderungen auch ein systematischer Wandel in Richtung Mobilitätswende und Circular Economy erfolgen. Szenarien und Kriterien der Akzeptabilität sind dabei hilfreiche Werkzeuge, Transformationen in ihren möglichen Entwicklungspfaden zu veranschaulichen und gesamtgesellschaftlich zu verorten.

Literatur

- Agora Verkehrswende; Agora Energiewende; Frontier Economics (2018): Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe. Online verfügbar unter https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/Die_Kosten_synthetischer_Brenn-_und_Kraftstoffe_bis_2050/Agora_Kosten_strombasierter_Brennstoffe_WEB.pdf, zuletzt geprüft am 27.09.2019.
- Altrock, Martin et al. (2018): Rechtliche Rahmenbedingungen für ein integriertes Energiekonzept 2050 und die Einbindung von EE-Kraftstoffen. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/MKS/iek-2050.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 25.06.2019.
- Ausfelder, Florian; Dura, Hanna (Hg.) (2018): Optionen für ein nachhaltiges Energiesystem mit Power-to-X-Technologien. Herausforderungen – Potenziale – Methoden – Auswirkungen. 1. Roadmap des Kopernikus-Projektes „Power-to-X“. Frankfurt am Main: DECHEMA. Online verfügbar unter https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapire/2018_Power_to_X-p-20003687.pdf, zuletzt geprüft am 20.09.2019.
- BDI – Bundesverband der Deutschen Industrie (2018): Klimapfade für Deutschland. Online verfügbar unter <https://e.issuu.com/embed.html#2902526/57478058>, zuletzt geprüft am 13.06.2019.
- Canzler, Weert; Knie, Andreas (2019): Strategiepapier Autodämmung. Experimentierräume für die Verkehrswende. Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung. Online verfügbar unter https://www.boell.de/sites/default/files/strategiepapier_verkehrswende.pdf?dimension1=division_sp, zuletzt geprüft am 27.09.2019.
- Bazzanella, Alexis; Ausfelder, Florian; DECHEMA – Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnik e.V. (2017): Technology study. Low carbon energy and

- feedstock for the European chemical industry. Frankfurt am Main: DECHEMA. Online verfügbar unter https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/Technology_study_Low_carbon_energy_and_feedstock_for_the_European_chemical_industry-p-20002750.pdf, zuletzt geprüft am 11.06.2019.
- Dena (2018): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Impulse für die Gestaltung des Energiesystems 2050. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9262_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_Ergebnisbericht.pdf, zuletzt geprüft am 20.09.2019.
- Eichenauer, Eva; Reusswig, Fritz; Meyer-Ohlendorf, Lutz; Lass, Wiebke (2018): Bürgerinitiativen gegen Windkraftanlagen und der Aufschwung rechtspopulistischer Bewegungen. In: Olaf Kühne und Florian Weber (Hg.): Bausteine der Energiewende. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 633–651.
- Frontier Economics (2018): International Aspects of a Power-to-X Roadmap. Berlin: Weltenergieerat. Online verfügbar unter https://www.weltenergieerat.de/wp-content/uploads/2018/10/20181018_WEC_Germany_PTXroadmap_Full-study-englisch.pdf, zuletzt geprüft am 11.06.2019.
- Grunwald, Armin (2003): Eine Stellungnahme aus Sicht der klassischen Technikfolgenabschätzung. In: Susanne Giesecke (Hg.): Technikakzeptanz durch Nutzerintegration. Beiträge zur Innovations- und Technikanalyse. Teltow: VDI/VDE Technologiezentrum Informationstechnik GmbH, S. 113–125.
- Grunwald, Armin (2005): Zur Rolle von Akzeptanz und Akzeptabilität von Technik bei der Bewältigung von Technikkonflikten. In: TATuP – Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis 14 (3), S. 54–60.
- Grunwald, Armin (2011): Energy futures: Diversity and the need for assessment. In: Futures 43 (8), S. 820–830. DOI: 10.1016/j.futures.2011.05.024.
- Mayring, Philipp (1991): Qualitative Inhaltsanalyse. In: Uwe Flick, Ernst von Kardoff, Heiner Keupp, Lutz von Rosenstiel und Stephan Wolff (Hg.): Handbuch qualitative Forschung. Grundlagen, Konzepte, Methoden und Anwendungen. München: Beltz- Psychologie Verl. Union, S. 209–213.
- Öko-Institut (2019): Kein Selbstläufer. Klimaschutz und Nachhaltigkeit durch PtX. Diskussion der Anforderungen und erste Ansätze für Nachweiskriterien für eine treibhausgasfreundliche und nachhaltige Produktion von PtX-Stoffen. Impulspapier im Auftrag des BUND im Rahmen des Kopernikus-Vorhabens „P2X“. Potsdam: Öko-Institut. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Impulspapier-soz-oeK-Kriterien-e-fuels.pdf>, zuletzt geprüft am 27.09.2019.
- Setton, Daniela (2019): Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energiewende 2018. Kernaussagen und Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse. Potsdam: Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung (IASS). Online verfügbar unter https://www.iass-potsdam.de/sites/default/files/2019-02/IASS_Nachhaltigkeitsbarometer.pdf, zuletzt geprüft am 27.09.2019.
- Umweltbundesamt (2014): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/07_2014_climate_change_dt.pdf, zuletzt geprüft am 21.10.2019.
- Umweltbundesamt (2019): Erneuerbare Energien in Zahlen. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#statusquo>, zuletzt geprüft am 15.06.2019.
- VNG (2018): META-Studie Sektorenkopplung. Analyse einer komplexen Diskussion. Online verfügbar unter https://vng.de/sites/default/files/vng_meta_studie_sektorenkopplung_enervis.pdf, zuletzt geprüft am 13.06.2019.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2011): Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Berlin: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU). Online verfügbar unter https://issuu.com/wbgu/docs/wbgu_jg2011?e=37591641/69400318/, zuletzt geprüft am 21.10.2019.
- Wietschel, Martin; Oberle, Stella; Ashley-Belbin, Natalja (2018): Power-to-X. Potenziale und Handlungsempfehlungen. Kurzgutachten im Auftrag der Impuls Stiftung, Frankfurt am Main. Online verfügbar unter: http://P2X4a.vdma.org/documents/27093545/27689039/IMPULS-Studie%20P2X_2018-12-11_1544780170056.pdf/7fca7c5e-c124-862f-2eaf-00acd5a0817b, zuletzt geprüft am 26.09.2019.



JULIA EPP

ist seit 2018 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung und arbeitet im Kopernikus-Projekt „P2X“. Im Rahmen ihrer Doktorarbeit beschäftigt sie sich mit den sozialen und politischen Dimensionen der Sektorenkopplung.



THERESA PFAFF

ist seit 2019 Mitarbeiterin am Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung. Sie arbeitet im Kopernikus-Projekt „P2X“ vor allem zu kommunikativen Aspekten von technologischen Entwicklungen.